

## ACTIONNEUR MAGNETIQUE A LEVITATION

## DESCRIPTION

5

## DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention a pour objet un actionneur magnétique à lévitation et notamment un microactionneur réalisable par les techniques de la microtechnologie.

Ces actionneurs magnétiques possèdent une partie magnétique mobile et une partie magnétique fixe. La partie magnétique mobile est en lévitation lorsqu'elle n'est pas collée à la partie magnétique fixe. De tels actionneurs sont très prometteurs et dans l'avenir ils risquent concurrencer les systèmes à transistors pour faire de la commutation.

## ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

On connaît par la demande de brevet français FR-A1-2 828 000 déposée le 27 juillet 2001 au nom du demandeur, un actionneur magnétique qui comporte comme sur les figures 1A, 1B, 1C une partie magnétique mobile 1, une partie magnétique fixe 2 présentant au moins deux zones d'attraction 2.1, 2.2 pour la partie magnétique mobile 1 et des moyens 3 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile 1. La partie magnétique mobile est formée d'un aimant en forme de plaque rectangulaire. Lorsqu'elle n'est pas collée sur l'une des zones d'attraction 2.1, 2.2, la partie

magnétique mobile 1 est en lévitation entre les deux zones d'attraction 2.1, 2.2. Sur les figures, les deux zones d'attraction 2.1, 2.2 correspondent chacune à une paire d'aimants 2.1a, 2.1b et 2.2a, 2.2b disjoints.

5 Chaque aimant 2.1a, 2.1b et 2.2a, 2.2b est doté d'un contact électrique C11, C12 et C21, C22 respectivement. La partie magnétique mobile 1 est également dotée de contacts électriques C1, C2 placés sur des faces opposées qui sont les faces qui viennent en contact

10 avec la partie magnétique fixe 2. Lorsque la partie magnétique mobile 1 est collée sur la zone d'attraction 2.1 de gauche, le contact C1 de la partie magnétique mobile 1 vient relier électriquement les deux contacts C11, C12 de la zone d'attraction 2.1 et lorsque la

15 partie magnétique mobile 1 est collée sur la zone d'attraction 2.2 de droite, son contact C2 vient relier électriquement les deux contacts C21, C22 de la zone d'attraction 2.2. Les flèches illustrent dans les deux situations, le courant qui circule entre les deux

20 contacts. Le déclenchement du mouvement de l'aimant mobile est initié par une impulsion de courant envoyée dans les moyens 3 de déclenchement du déplacement qui sont représentés dans cet exemple par un bobinage à plusieurs spires placé sous l'ensemble formé par la

25 partie magnétique mobile 1 et la partie magnétique fixe 2.

Par rapport aux commutateurs à transistors de tels commutateurs magnétiques à lévitation et d'une façon générale les contacteurs mécaniques présentent un

30 inconvénient qui est que leur temps de commutation n'est pas négligeable, il est d'au moins quelques

microsecondes. Un autre inconvénient présenté par ces actionneurs est que la qualité du contact électrique risque de se dégrader après un grand nombre de commutations.

5 Un autre inconvénient de ces commutateurs magnétiques à lévitation est qu'ils consomment un courant non négligeable au moment d'une commutation.

Par contre, ils possèdent un avantage qui est que lorsqu'ils sont dans une position stable, leur  
10 partie magnétique mobile collée contre la partie magnétique fixe, ils ne consomment pas d'énergie électrique. Ce n'est pas le cas des transistors qui lorsqu'ils sont au repos consomment un peu d'énergie et doivent continuer à être alimentés.

15

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de proposer un actionneur magnétique à lévitation qui présente un temps de commutation et/ou un courant  
20 d'actionnement réduits par rapport aux actionneurs de l'art antérieur.

Un autre but de l'invention est de proposer un actionneur magnétique dont le courant consommé pendant une commutation est réduit.

25 Un autre but de l'invention est de proposer un actionneur magnétique ayant une qualité de contact améliorée et pérenne.

Un autre but de l'invention est de proposer un actionneur magnétique dont la partie magnétique  
30 mobile présente une stabilité angulaire accrue.

Pour atteindre ces buts, la présente invention est un actionneur magnétique comportant une partie magnétique mobile, une partie magnétique fixe dotée d'au moins deux zones d'attraction pour la partie magnétique mobile, et des moyens de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile, la partie magnétique mobile étant en lévitation lorsqu'elle n'est pas en contact avec une zone d'attraction. La partie magnétique mobile comporte une pièce à base d'aimant, allégée en aimant, cette pièce ayant un volume hors tout, et une masse qui est inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était totalement occupé par l'aimant.

Ainsi, grâce à la pièce allégée en aimant, on réduit la masse de la partie magnétique mobile, cette dernière est commutée plus rapidement pour une force d'actionnement donnée ou bien un courant d'actionnement réduit est requis pour l'actionnement pour un temps de commutation donné. On peut jouer à la fois sur le temps de commutation et le courant d'actionnement.

La pièce allégée en aimant peut être formée d'un ou plusieurs aimants munis d'au moins un évidement.

L'évidement peut être un trou traversant. Il peut être rempli d'un matériau solide ayant une densité moindre, inférieure à celle de l'aimant.

On peut choisir le matériau solide de moindre densité parmi un matériau semi-conducteur, un matériau plastique, un matériau diélectrique, un matériau magnétique doux, selon la configuration.

Dans une variante, l'évidement peut être vide de matériau solide.

La pièce allégée en aimant peut prendre la forme d'une plaque sensiblement rectangulaire.

5 Il est possible qu'elle comporte un cadre d'aimant.

Dans une variante qui permet de diminuer le courant nécessaire à un déplacement, la pièce allégée en aimant peut comporter, dans le sens du déplacement, 10 une succession d'aimants espacés les uns des autres, ces aimants ayant une même orientation d'aimantation.

Dans le même but, la pièce allégée en aimant peut comporter, dans le sens du déplacement, une succession alternée d'aimants et d'au moins une partie 15 solide de moindre densité.

Les aimants peuvent être en forme de barreaux orientés sensiblement normalement au déplacement.

Pour maximiser la force de contact, il est 20 avantageux que la succession comporte un aimant à chaque extrémité. Cependant en fonction des applications ou des caractéristiques magnétiques des aimants, il peut être intéressant aussi de disposer à chaque extrémité de la succession un autre matériau que 25 celui utilisé pour les aimants de la succession.

Pour diminuer le courant total nécessaire au déplacement, les moyens de déclenchement du déplacement peuvent comporter au moins un conducteur agencé en méandre formé de tronçons de conducteurs 30 successifs dans lesquels un courant est susceptible de circuler dans des sens opposés, chacun des aimants de

la succession coopérant, lorsque la partie magnétique mobile est collée sur une zone d'attraction, avec un des tronçons, dans ces tronçons le courant circulant dans le même sens.

5                    Pour simplifier la commande bidirectionnelle, il est préférable que les aimants d'extrémité aient une dimension, dans le sens du déplacement, sensiblement égale au déplacement.

10                   Dans une autre variante particulièrement stable, la pièce allégée en aimant comporte au moins un aimant central entouré au moins partiellement d'au moins une partie de moindre densité, cet aimant central étant en forme de pastille sensiblement arrondie ou ovoïde.

15                   Pour améliorer la force de contact, lorsque la partie magnétique mobile est collée sur une zone d'attraction, la partie magnétique mobile peut comporter au moins une face, devant venir se coller sur la zone d'attraction, cette face étant courbe.

20                   Au lieu d'être courbe, cette face peut être agencée en zigzag.

                    Dans ces configurations, chaque zone d'attraction a une géométrie conjuguée de celle de la face de la partie magnétique mobile devant venir en  
25                   contact avec elle.

                    Il est possible de prévoir, notamment dans le cas de contacteurs RF, qu'au moins une des zones d'attraction comporte une partie diélectrique de manière à réaliser un contact capacitif lorsque la  
30                   partie magnétique mobile est collée sur ladite zone d'attraction.

Dans le même but, la pièce allégée en aimant peut comporter une partie diélectrique de manière à réaliser un contact capacitif lorsque la partie magnétique mobile est collée sur une des zones d'attraction.

La présente invention concerne également un procédé de réalisation d'un actionneur magnétique de ce type. Il comporte les étapes suivantes :

- sur un premier substrat, réalisation de caissons aptes à recevoir des aimants d'une partie magnétique fixe et d'une pièce allégée en aimant d'une partie magnétique mobile, cette pièce allégée en aimant ayant un volume hors tout, et une masse qui est inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était totalement occupé par l'aimant,
- dépôt dans les caissons des aimants,
- dépôt d'une couche diélectrique et gravure de cette dernière pour mettre à nu la pièce allégée en aimant de la partie magnétique mobile et son entourage jusqu'à la partie magnétique fixe,
- sur un second substrat réalisation d'au moins un caisson apte à recevoir un conducteur destiné à déclencher un déplacement de la partie magnétique mobile,
- dépôt du conducteur dans le caisson,
- assemblage des deux substrats en les mettant face à face,
- élimination totale ou partielle du premier substrat de manière à libérer la pièce allégée en aimant de la partie magnétique mobile.

Il peut comporter également une étape d'aimantation de l'aimant de la pièce allégée en aimant de la partie magnétique mobile et éventuellement de la partie magnétique fixe avant la libération de la pièce allégée en aimant.

L'étape de gravure de la couche diélectrique du premier substrat peut viser à réaliser au moins une ouverture d'accès à au moins un contact électrique d'alimentation du conducteur.

L'étape de gravure de la couche diélectrique peut être suivie d'une étape de gravure du premier substrat autour de la pièce allégée en aimant et au niveau d'au moins une partie de moindre densité dont est dotée la pièce allégée en aimant.

Dans une variante, l'étape de gravure de la couche diélectrique peut être suivie d'une étape de gravure du premier substrat autour de la pièce allégée en aimant en masquant au moins une partie de moindre densité dont est dotée la pièce allégée en aimant, cette partie de moindre densité étant pleine du matériau du substrat.

Le procédé peut comporter une étape de réalisation d'au moins un contact électrique pour l'alimentation du conducteur sur le second substrat après le dépôt du conducteur et avant l'assemblage des deux substrats.

Une étape de dépôt d'un matériau diélectrique en surface du second substrat avant l'assemblage des deux substrats peut être prévue. Ce matériau diélectrique peut servir à protéger le conducteur.

Les substrats peuvent être des substrats semi-conducteurs massifs ou de type SOI.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

- 5                   La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :
- 10                   les figures 1A, 1B, 1C montrent un actionneur magnétique connu ;
- les figures 2A à 2J montrent différentes variantes d'un actionneur magnétique selon l'invention ;
- 15                   - les figures 3A à 3I montrent différentes étapes de réalisation des parties magnétiques fixe et mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur massif ;
- les figures 4A à 4I montrent différentes
- 20                   étapes de réalisation des parties magnétiques fixe et mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur de type SOI ;
- les figures 5A à 5G montrent différentes étapes de réalisation des moyens de déclenchement du
- 25                   déplacement de la partie magnétique mobile d'un actionneur selon l'invention, sur un substrat semi-conducteur ;
- les figures 6A et 6B montrent les étapes d'assemblage et de finition des substrats obtenus aux
- 30                   figures 3I et 5G ;

- les figures 7A et 7B montrent les étapes d'assemblage et de finition des substrats obtenus aux figures 4I et 5G.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

Ces différentes variantes doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres.

15

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On se réfère aux figures 2A à 2J qui montrent différentes configurations possibles pour la partie magnétique mobile 20, la partie magnétique fixe 10 et les moyens 30 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile 20 d'un actionneur magnétique selon l'invention. Ce déplacement se fait dans un plan x, y, le long de l'axe x.

Le temps de commutation d'un actionneur magnétique, pour une force magnétique donnée s'appliquant sur la partie magnétique mobile est proportionnel à la masse de la partie magnétique mobile. Pour que la partie magnétique mobile se déplace entre deux zones d'attraction selon une translation sans être soumise à une déviation latérale, il faut que sa dimension dans le sens du déplacement soit grande

devant ses deux autres dimensions. C'est pourquoi la partie magnétique mobile est généralement une plaque d'aimant rectangulaire dont la longueur est dirigée dans le sens du déplacement. Ces considérations font  
5 qu'une telle partie magnétique mobile présente un volume relativement important et donc une masse relativement importante (les densités des aimants sont en général élevées).

Mais en fait, seuls les volumes d'aimants  
10 qui se trouvent en vis à vis des zones d'attraction de la partie magnétique fixe, participent à la bistabilité de l'actionneur. On entend par bistabilité, les deux positions stables de la partie magnétique mobile contre les zones d'attraction de la partie magnétique fixe. Le  
15 déclenchement du déplacement par contre est dû à l'ensemble aimants plus moyens de déclenchement du déplacement (ces moyens seront décrits en détail ultérieurement). La partie centrale de la partie magnétique mobile n'a pas besoin d'être en aimant (dans  
20 le cas où il n'y a pas de conducteur des moyens de déclenchement du déplacement au niveau de cette partie centrale). L'invention consiste donc à réaliser la partie magnétique mobile sous forme d'une pièce allégée en aimant de telle sorte qu'elle possède une masse qui  
25 est inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était totalement occupé par l'aimant. Ainsi pour une même force et une même pression s'appliquant sur la partie magnétique mobile, on allège sa masse et on réduit le temps de commutation et/ou le courant  
30 d'actionnement nécessaire.

La figure 2A montre en vue de dessus un actionneur magnétique selon l'invention dans lequel la partie magnétique fixe 10 comporte deux zones d'attraction 11, 12 en vis à vis, chacune formée d'une  
5 paire de blocs magnétiques 11.1 et 11.2, 12.1 et 12.2 disjoints à la manière des figures 1A à 1C.

La partie magnétique fixe peut être réalisée en un matériau choisi dans le groupe des matériaux magnétiques doux, des matériaux magnétiques  
10 durs, des matériaux à hystérésis, ces matériaux étant pris seuls, en combinaison entre eux ou avec des matériaux supraconducteurs, des matériaux diamagnétiques. Les matériaux magnétiques doux tels que le fer, le nickel, des alliages à base de fer-nickel,  
15 de fer-cobalt, de fer-silicium etc., s'aimantent en fonction d'un champ inducteur auquel ils sont soumis. Les matériaux magnétiques durs correspondent aux aimants tels que les aimants en ferrite, les aimants à base de samarium-cobalt, les aimants à base de néodyme-fer-bore, les aimants à base de platine-cobalt, de fer-platine par exemple. Leur aimantation dépend peu du  
20 champ magnétique extérieur. Les matériaux à hystérésis, par exemple de type aluminium-nickel-cobalt (AlNiCo), ont des propriétés qui se situent entre celles des matériaux magnétiques doux et celles des matériaux magnétiques durs. Ils sont sensibles au champ magnétique dans lequel ils se trouvent. Quant aux matériaux diamagnétiques tels que le bismuth ou le graphite pyrolitique, leur aimantation est colinéaire  
25 au champ magnétique inducteur mais de sens opposé. Les matériaux supra-conducteurs pourraient être des

alliages à base de nobium-titane (NbTi), d'yttrium-barium-cuivre-oxygène (YBaCuO) par exemple.

La partie magnétique mobile 20 représentée, dans cet exemple, est située entre les deux zones d'attraction 11, 12 et est donc en lévitation. Elle comporte une pièce 200 allégée en aimant qui est formée d'au moins un aimant 22 muni d'évidements 21. Ces évidements 21 peuvent être des trous traversants ou des trous borgnes. Les trous 21 sont dirigés dans le sens de l'épaisseur de l'aimant 22. Cette représentation n'est pas limitative, les évidements 21 pourraient prendre une autre direction. La pièce 200 allégée en aimant et donc aussi l'aimant 22 sont en forme de plaque sensiblement parallélépipédique.

Les évidements 21 sont de préférence concentrés dans la partie centrale de l'aimant 22 et épargnent ses bords 23 qui sont en vis à vis des deux zones d'attraction 11, 12 de la partie magnétique fixe 10. Ces bords 23 sont pleins et leur dimension, dans le sens du déplacement, est sensiblement égale à la distance que parcourt la partie magnétique mobile 20 lorsqu'elle quitte l'une des deux zones d'attraction, par exemple 11, et vient se coller sur l'autre zone d'attraction 12. Cette distance est appelée par la suite entrefer et est référencée e sur la figure 2B. Dans l'exemple de la figure 2A, les évidements 21 de l'aimant 22 sont vides de matériau solide. Ainsi la masse de la pièce 200 allégée en aimant est inférieure à celle qu'elle aurait en l'absence des évidements 21.

L'aimant 22 peut être réalisé par exemple, en ferrite, à base de samarium-cobalt, de néodyme-fer-bore, de platine-cobalt, de fer-platine.

Les évidements 21 ont été répartis de manière sensiblement régulière dans l'aimant 22 mais ce n'est pas une obligation. De la même manière, ils n'ont pas forcément tous la même dimension.

Au lieu de posséder plusieurs évidements, l'aimant pourrait en avoir qu'un seul. Au lieu que les évidements soient vides de matériau solide, ils pourraient être emplis d'un matériau dont la densité est inférieure à celle de l'aimant comme sur la figure 2B. Ce matériau est appelé par la suite matériau de moindre densité. Sa densité est inférieure à celle de l'aimant. On peut penser, par exemple, à un matériau plastique, à un matériau diélectrique, à un matériau semi-conducteur tel que le silicium ou même à un matériau magnétique doux tel que le fer, le nickel, des alliages à base de fer-nickel, de fer-cobalt, de fer-silicium, etc..

Ce qui importe, c'est que la pièce 200 allégée en aimant ait une masse inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était en aimant massif. Par volume hors tout, on entend le volume total qui inclut le volume des évidements lorsqu'ils sont vides de matériau solide. Avec ce principe, il est possible de gagner jusqu'à environ 90% sur la masse de la partie magnétique mobile et donc de diviser le temps de commutation par environ 10 par rapport à une configuration conventionnelle avec partie magnétique mobile faite d'un aimant massif.

Les moyens 30 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile 20 ont été représentés comme un bobinage 30 à une ou plusieurs spires placé sous l'ensemble constitué de la partie magnétique mobile 20 et de la partie magnétique fixe 10.

Des contacts entre la partie magnétique mobile 20 et les zones d'attraction 11, 12 ont été représentés résistifs, c'est à dire ohmiques ou secs. L'aimant 22 vient en contact électrique direct avec l'une ou l'autre des paires de blocs magnétiques 11.1 et 11.2, 12.1 et 12.2.

Sur la figure 2B, la partie magnétique fixe 10 comporte maintenant deux zones d'attraction 11, 12 en vis à vis, chacune formée d'un aimant 110, 120 et d'une partie diélectrique 111, 121 accolées. La partie magnétique mobile 20 vient se coller sur l'une ou sur l'autre des parties diélectriques 111 ou 121 de manière à former un contact dit capacitif. Un des avantages des contacts capacitifs est qu'ils sont moins sujets à l'usure que les contacts résistifs.

La pièce 200 allégée en aimant de la partie magnétique mobile 20 est une plaque sensiblement rectangulaire et comporte un aimant 24 en forme de cadre délimitant un trou 21 traversant unique empli de matériau 25 dont la densité est inférieure à celle de l'aimant. Le cadre est sensiblement rectangulaire avec des barreaux dont deux (référéncés 24.1) sont en vis à vis des zones d'attraction 11, 12. Il serait bien sûr possible que le trou traversant 21 unique soit vide de matériau solide, à la manière de ceux de la figure 2A.

Sur cette figure 2B, la largeur l (dimension dans le sens du déplacement) d'un barreau 24.1 se trouvant en vis à vis des zones d'attraction 11, 12 de la partie magnétique fixe 10 est sensiblement égale à l'entrefer e. On pourrait envisager d'utiliser ce trou pour positionner une lentille optique ou une valve.

Les moyens 30 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile 20 sont représentés par un conducteur agencé en méandre placé sous la partie magnétique mobile 20. Ils seront décrits plus en détail par la suite, notamment en se référant à la figure 2C qui est une coupe longitudinale de l'actionneur de la figure 2B.

Sur la figure 2D, la partie magnétique fixe 10 est similaire à celle de la figure 2A, les moyens de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile ne sont pas représentés pour ne pas surcharger la figure.

La pièce 200 allégée en aimant de la partie magnétique mobile 20 comporte deux aimants 26 prenant en sandwich une partie 27 de moindre densité. La partie 27 de moindre densité est une plaque sensiblement carrée. La pièce 200 a la forme d'une plaque sensiblement rectangulaire. Les aimants 26, en forme de barreaux, sont situés en vis à vis des zones d'attraction 11, 12 de la partie magnétique fixe 10. Comme dans les exemples précédents, le matériau de la partie 27 de moindre densité peut être, par exemple, un matériau plastique, un matériau diélectrique, du silicium ou même un matériau magnétique doux.

Sur la figure 2E, la pièce 200 allégée en aimant est formée, dans le sens du déplacement, d'une succession alternée d'aimants 26 et de parties 27 de moindre densité, des aimants 26 terminant la succession. On peut envisager que ce ne soit pas un aimant qui termine la succession, notamment si on prévoit de réaliser un contact capacitif. Les aimants 26 terminaux sont en vis à vis avec les zones d'attraction 11, 12 de la partie magnétique fixe 10.

10 Les aimants 26 et les parties 27 de moindre densité sont en forme de barreaux. Les parties 26 de moindre densité peuvent être réalisées en matériau solide mais on peut imaginer qu'elles correspondent à des évidements. Cette dernière configuration est illustrée

15 sur la figure 2F. Sur cette dernière figure, la pièce 200 allégée en aimant est un aimant en forme de grille et les barreaux d'aimant 26 sont solidaires les uns des autres à leurs deux extrémités.

Sur les figures 2E, 2F, la partie magnétique fixe 10 est formée de deux pièces magnétiques 111, 121 en regard formant chacune une zone d'attraction 11, 12. Les aimants 26 sont massifs mais ce n'est pas une obligation, ils pourraient être munis d'au moins un évidement. Il en est de même pour les

25 parties 27 de moindre densité si elles sont solides.

Les aimants 26 terminaux ont une largeur dans le sens du déplacement qui est sensiblement égale à celle de l'entrefer.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2E,

30 les aimants 26 et les parties 27 de moindre densité ont sensiblement les mêmes dimensions. Ce n'est pas une

obligation. La pièce 200 allégée en aimant a la forme d'une plaque sensiblement rectangulaire.

Sur la figure 2G, la partie magnétique mobile 20 comporte une pièce 200 allégée en aimant formée d'un aimant central 28 plein à bords globalement arrondis, entouré au moins partiellement d'une ou plusieurs parties 29 de moindre densité. Ces parties de moindre densité 29 peuvent être magnétiques ou amagnétiques, diélectriques ou électriquement conductrices. Un tel aimant 28 peut prendre la forme d'une pastille sensiblement circulaire ou légèrement ovoïde (sa largeur est proche de sa longueur). Cette pastille peut aussi comporter au moins une portion de bord rectiligne. Ainsi en donnant à l'aimant une telle forme en pastille, on peut rendre la partie magnétique mobile 20 plus stable angulairement. Il y a moins de risque qu'elle se décale angulairement lors de son déplacement. En réduisant sa dimension dans le sens du déplacement par rapport à la configuration avec aimant sensiblement parallélépipédique, on réduit sa masse. La partie magnétique fixe 10 est similaire à celle de la figure 2E.

Les parties 29 de moindre densité servent à compléter l'aimant 28 pour que les faces de la pièce 200 allégée en aimant, en vis à vis des zones d'attraction 11, 12, soient adaptées à la géométrie des dites zones d'attraction 11, 12 afin d'obtenir un contact optimal.

Dans l'exemple de la figure 2G, les zones d'attraction 11, 12 ont une face plane en regard de la partie magnétique mobile 20. Les parties 29 de moindre

densité, au nombre de quatre dans cet exemple, peuvent être qualifiées de coins qui encadrent l'aimant 28 en forme de pastille. Leur section principale est délimitée par deux côtés à angle droit reliés par un arc de cercle. Elles contribuent à former avec l'aimant 28 des faces planes qui doivent venir se coller sur les zones d'attraction 11, 12. D'autres formes sont bien sûr possibles. La pièce 200 allégée en aimant avec les coins 29 prend la forme d'une plaque sensiblement rectangulaire.

Si le matériau des parties 29 de moindre densité est diélectrique, on peut prévoir que l'aimant 28 (qui lui peut être électriquement conducteur) vienne en contact direct avec les zones d'attraction 11, 12 dans la mesure où elles sont également conductrices et que l'on désire réaliser un contact ohmique comme sur la figure 2G. Si un contact capacitif est requis, les parties 29 de moindre densité peuvent masquer totalement l'aimant 28 vis à vis des zones d'attraction 11, 12 comme sur la figure 2H. Sur cette figure l'aimant 28 est une pastille centrale sensiblement ovoïde.

On pourrait avoir comme partie magnétique mobile une pastille pleine en aimant sensiblement ovoïde donc sans coin matérialisé. Elle posséderait des coins allégés en aimant vides par rapport aux configurations de l'art antérieur avec partie magnétique mobile rectangulaire. Maintenant, si pour avoir une stabilité angulaire, la partie magnétique mobile comporte une pastille pleine en aimant sensiblement ovoïde coopérant avec des coins, ces

derniers seront en matériau amagnétique électriquement conducteur ou diélectrique.

Sur la figure 2I, la partie magnétique mobile 20 comporte une pièce 200 allégée en aimant en  
5 forme de plaque sensiblement ovoïde. Elle est constituée d'un cadre 201 en aimant délimitant une ouverture centrale 202 vide de matériau solide. Cette ouverture 202 pourrait bien sûr être remplie d'un matériau de moindre densité comme décrit à la figure  
10 2B.

Les faces 201a de la partie magnétique mobile 20 qui sont destinées à venir se coller sur les zones d'attraction 11, 12, de la partie magnétique fixe  
10 sont également courbes. Les zones d'attraction 11, 12 comportent chacune une face 11a, 11b de forme conjuguée de celle de la pièce 200 allégée en aimant. La partie magnétique mobile 20 peut venir s'encastrier partiellement dans les zones d'attraction 11, 12. Ainsi  
15 pour une section donnée de la pièce 200 allégée en aimant, transversale au déplacement, on augmente la surface de contact entre la partie magnétique fixe et la partie magnétique mobile, par rapport au cas où les faces de contact sont planes et perpendiculaires au déplacement comme sur la figure 2B. On peut alors  
20 améliorer la qualité du contact, cette dernière variant dans le même sens que la surface de contact, que ce contact soit ohmique ou capacitif. D'autres formes de courbes sont bien sûr envisageables puisque toute surface courbe peut être décomposée en une succession  
25 de petites surfaces planes d'angle variable. Dans le cas simple de la figure 2J, la surface et la force de

contact  $F'$  sont toutes deux augmentées d'un facteur  $1/\sin\alpha$ , l'angle  $\alpha$  étant représenté sur la figure 2J entre la force  $F'$  et une normale à la direction du déplacement

5                    Au lieu que les faces de la pièce 200 allégée en aimant, destinées à venir se coller sur les zones d'attraction 11, 12 soient en courbes, elles pourraient être dentelées comme sur la figure 2J.

10                    La pièce 200 allégée en aimant est formée d'un aimant 203 avec des évidements 204 (que l'on suppose non traversants). L'aimant 203 est en forme de plaque et les évidements peuvent se trouver au niveau de l'une de ses faces principales ou au niveau des deux faces principales.

15                    La pièce 200 allégée en aimant est donc en forme de plaque avec des faces 205 en zigzag devant venir se coller sur les zones d'attraction 11, 12. Chaque zone d'attraction 11, 12 possède une face de forme conjuguée sur laquelle doit venir se coller la  
20                    partie magnétique mobile 20. Une telle forme avec une ou plusieurs dents ou au moins sensiblement un V permet également d'augmenter la force et/ou la surface de contact par rapport au cas où les bords sont droits normaux au déplacement.

25                    On va maintenant revenir sur les moyens de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile. Sur la figure 2A, les moyens 30 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile sont représentés par un conducteur agencé en  
30                    boucle, à une ou plusieurs spires, placé dans un plan  $x, y$  (qui est le plan dans lequel se déplace la partie

magnétique mobile) sous l'ensemble formé de la partie magnétique mobile 20 et de la partie magnétique fixe 10. Cette boucle comporte un tronçon 30.1 de conducteur en regard de chaque zone d'attraction 11, 12. Dans ces  
5 deux tronçons 30.1 de conducteur le courant circule en sens inverse. Une flèche indique (de manière arbitraire) le sens du courant dans le conducteur.

Dans cette configuration, la coopération au point de vue champ magnétique entre le conducteur 30 en  
10 boucle et la pièce 200 allégée en aimant n'est pas optimale. Le champ magnétique principal créé par l'aimant 22 est orienté dans le sens du déplacement (selon x), il sert à réaliser un guidage magnétique de la partie magnétique mobile 20 lorsqu'elle est en  
15 lévitation et à obtenir une bistabilité. Pour initier le déplacement, on tire partie d'une fuite de champ magnétique provenant de l'aimant 22 qui se combine avec le courant électrique circulant dans les deux tronçons 30.1 de conducteur situés en regard des zones  
20 d'attraction 11, 12.

La force d'arrachement qui sert à initier le déplacement est proportionnelle au produit vectoriel de l'intensité du courant dans le tronçon 30.1 de conducteur en regard de la zone d'attraction 11 ou 12  
25 sur laquelle est collée la pièce 200 allégée en aimant et du champ magnétique créé par la partie magnétique mobile uniquement et régnant au niveau du dudit tronçon 30.1 de conducteur selon la loi de Laplace. Or le champ magnétique au niveau de ce tronçon 30.1 de conducteur  
30 n'est pas optimal, puisque qu'on n'utilise pas tout le champ magnétique créé par l'aimant 22 de la pièce 200

allégée en aimant, mais seulement une fuite. Les tronçons (référéncé 30.2) du conducteur 30 qui ne sont pas en vis à vis avec les zones d'attraction 11, 12 ne participent pas au déclenchement du déplacement. Pour  
5 que la force soit suffisante pour décoller la pièce 200 allégée en aimant, il faut faire circuler un courant important dans le conducteur 30.

Par contre sur les figures 2B, 2C, la pièce 200 allégée en aimant est un cadre sensiblement  
10 rectangulaire avec deux barreaux 24.1 d'aimant en vis à vis des zones d'attraction 11, 12. Ces deux barreaux 24.1 d'aimant ont la même direction d'aimantation (illustrée par une flèche descendante sur la figure 2C) et cette direction d'aimantation suit l'axe z. Les  
15 moyens 30 de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile 20 sont un conducteur agencé en méandre avec des tronçons 31.1, 31.2 orientés comme les barreaux 24.1. Dans deux tronçons successifs 31.1, 31.2 le courant circule dans des directions opposées. Le  
20 sens du courant est illustré sur la figure 2C. L'un des sens correspond à un chemin aller et l'autre à un chemin retour pour le courant. Chaque barreau 24.1 se trouve au-dessus d'un tronçon 31.1 de conducteur lorsqu'il est collé sur une zone d'attraction 11 et au-  
25 dessus d'un tronçon 31.2 de conducteur lorsqu'il est collé sur la zone d'attraction 12. Dans ces tronçons 31.1 ou bien 31.2 surmontés d'un barreau 24.1, le courant circule dans la même direction. Il y a une coopération forte entre le champ créé par chacun des  
30 barreaux 24.1 et le courant qui circule dans le tronçon 31.1 associé (dans le cas où la partie magnétique

mobile 20 est collé à la zone d'attraction 11) et cette coopération vise à créer une force de déplacement appelée également force d'actionnement de la partie magnétique mobile 20. La géométrie des méandres n'est pas limitée à la géométrie simple en grecque comme sur les figures 2. On peut envisager une géométrie plus complexe telle qu'un méandre spiralé s'étendant dans un ou plusieurs plans superposés.

Au niveau de la partie de moindre densité 25, il s'établit également un champ magnétique qui est de direction opposée à celui généré par les barreaux 24.1 d'aimants. Ce champ magnétique provient des champs de fuite de barreaux 24.1 voisins. Cette partie de moindre densité 25, qui peut être qualifiée de virtuelle si le cadre est vide de matériau solide coopère également avec un tronçon 31.2 de conducteur pour initier le déclenchement du déplacement lorsque la partie magnétique mobile est collée contre une zone d'attraction. Le champ magnétique dans la partie de moindre densité 25 renforce celui créé par le tronçon 31-2 de conducteur avec lequel elle coopère. Une force d'arrachement donnée peut être obtenue avec un courant plus faible que dans la configuration de la figure 2A. S'il y avait plusieurs parties de moindre densité comme sur la figure 2E, chacune coopérerait avec un tronçon de conducteur et dans tous ces tronçons le courant serait dirigé dans le même sens, de la même manière que pour les barreaux d'aimant.

Lorsque la partie magnétique mobile 20 est collée contre la zone d'attraction 11, il y a un tronçon 31.2 de conducteur d'extrémité (celui de

droite) qui ne coopère pas avec une partie de la partie magnétique mobile 20. Ce tronçon 31.2 de conducteur se trouve au niveau de l'entrefer e. Mais lorsque la partie magnétique mobile 20 a commuté et se retrouve collée sur la zone d'attraction 12, ce tronçon de conducteur 31.2 trouve son utilité dans l'autre sens puisque le courant y circule en sens inverse et c'est l'autre tronçon de conducteur d'extrémité 31.1 (situé du côté de la zone d'attraction 12) qui ne participe pas au déclenchement. Ainsi avec des impulsions de courant toujours dans le même sens, on obtient un déclenchement du déplacement vers l'une ou l'autre des zones d'attraction quelle que soit la position initiale de la partie magnétique mobile au repos.

Ainsi quelle que soit la position de la partie magnétique mobile 20 en contact avec une zone d'attraction 11, 12, il y a une coopération forte entre toute la partie magnétique mobile 20 et le conducteur 30. La force obtenue est sensiblement proportionnelle au nombre de méandres. Pour une force donnée apte à arracher la partie magnétique mobile 20 d'une zone d'attraction 11, 12, il est possible de réduire l'intensité du courant circulant dans le conducteur 30.

On va voir maintenant différentes étapes de réalisation d'un actionneur selon l'invention en microtechnologie, cet actionneur étant appelé par la suite microactionneur. Plusieurs actionneurs sont réalisables en même temps. Sur les figures on ne voit qu'un seul actionneur. Ces étapes reprennent celles décrites dans la demande de brevet FR-A1-2 828 000 précédemment citée.

Sur les figures 7A, 7B le microactionneur se trouve encastré totalement dans un substrat réalisé en deux parties assemblées. Sur les figures 6A, 6b, seuls les moyens de déclenchement du déplacement sont encastrés dans le substrat également réalisé en deux parties assemblées, les parties magnétiques mobile et fixe sont placées sur le substrat. Sur les figures 6A, 6B, les deux parties sont des substrats semi-conducteurs classiques massifs tandis que sur les figures 7A, 7B, l'une d'entre elle est un substrat classique massif tandis que l'autre est un substrat SOI (sigle de silicon on insulator, pour silicium sur isolant). Un tel substrat en silicium possède une couche de matériau isolant 93-1, de l'oxyde de silicium, enfouie au sein du silicium. Son avantage est que lorsqu'on fait une opération de gravure, la couche de matériau isolant peut servir de couche d'arrêt.

Sur un premier substrat soit classique massif 91 en matériau semi-conducteur, soit de type SOI 93 on va réaliser des microaimants 3-1 et 24, pour la partie magnétique fixe et pour la partie magnétique mobile respectivement. Cette réalisation est décrite aux figures 3A à 3I et 4A à 4I. Sur un second substrat 92 massif en matériau semi-conducteur ou de type SOI, on va réaliser les moyens de déclenchement du déplacement prenant la forme d'un ou plusieurs conducteurs pouvant être agencés en bobinage (figures 5A à 5G). Sur ces figures 5A à 5G, on a représenté un substrat massif. Toutefois sur la figure 5B on a schématisé par des pointillés la position de que

prendrait la couche de matériau isolant d'un substrat SOI.

On part du premier substrat 91, 93. On délimite la géométrie des aimants par photolithographie. Ces aimants sont ceux de la partie 5 magnétique fixe et celui ou ceux de la pièce allégée en aimant de la partie magnétique mobile. On utilise pour cela une résine 50-1 (figures 3A, 4A). Le masque de photolithographie utilisé tient compte de la structure 10 de la pièce allégée en aimant. Ce masque comporte au moins une partie pleine 500 ou épargnée qui correspond, dans la pièce 200 allégée en aimant, à une partie de densité moindre qui dans l'exemple correspond à un évidement 21 de l'aimant. Cet évidement peut être vide 15 ou plein de matériau solide de moindre densité. On suppose que la pièce 200 allégée en aimant est un cadre 24 en aimant évidé sur les figures 3 et que c'est un cadre 24 en aimant dont l'évidement 21 est plein de matériau du substrat sur les figures 4.

20 On grave dans le premier substrat 91, 93 des caissons 51 pour les aimants. Ces caissons sont des moules pour les parties qui seront emplies d'aimant. Le premier substrat 91, 93 n'est pas gravé au niveau de la partie pleine 50-2 du masque. La gravure peut être une 25 gravure sèche. Dans le substrat SOI 93, la gravure s'arrête sur la couche d'oxyde 93-1. On ôte la résine 50-1. On dépose une sous-couche d'accrochage conductrice 52 sur le substrat 91, 93. En fait cette variante ne se trouve que sur la figure 4B.

30 Sur la figure 3B, il y a deux sous-couches d'accrochage 52-1, 52-2, la seconde 52-2 étant insérée

entre la première 52-1 et le substrat 91. Elle permet une bonne adhésion au substrat 91 de la première sous-couche 52-1. Elle permet aussi une protection du cadre 24 en aimant, réalisé ultérieurement, contre la corrosion. La première sous-couche peut être en or et la seconde en titane. Ces deux sous-couches pourraient être employées dans l'exemple de la figure 4B.

On définit la zone de dépôt des aimants par photolithographie. La couche de résine employée porte la référence 50-2. On dépose les aimants 3-1, 24 par voie électrolytique. Le matériau employé peut être du cobalt-platine (figures 3C, 4C).

Après une étape de retrait de la résine 50-2, on effectue une étape de planarisation des aimants puis une étape de retrait de la sous-couche 52 en surface (figures 4D) ou des deux sous-couches 52-1, 52-2 (figure 3D).

On peut déposer ensuite une couche conductrice 53 en surface destinée à réaliser des contacts électriques C1, C2 sur les aimants 3-1 de la partie magnétique fixe et C sur le cadre 24 de la partie magnétique mobile.

On définit la géométrie des contacts C1, C2, C par photolithographie. La résine porte la référence 50-3 (figures 3E, 4E). Puisque tous les aimants sont réalisés en même temps, l'aimant mobile 24 porte aussi une couche conductrice sur sa face supérieure, elle a un rôle de protection contre la corrosion. Sur les figures 3E et 4E la résine 50-3 épargne l'évidement 21 de la partie magnétique mobile 200.

L'étape suivante est une étape de gravure de la couche conductrice 53 pour délimiter les contacts C1, C2, C. Sur la figure 3F, la couche conductrice 53 est ôtée par gravure au niveau de l'évidement 21 de la  
5 pièce allégée en aimant 200, le matériau du substrat se trouvant au niveau de l'évidement 21 sera ultérieurement ôté comme on le verra à la figure 3I. Sur la figure 4F, la couche conductrice 53 n'est pas ôtée au niveau de l'évidement 21 de la pièce allégée en  
10 aimant 200. Elle empêche que l'étape de gravure de la figure 4I n'attaque le matériau du substrat qui emplit l'évidement.

On ôte ensuite la résine 50-3. On dépose en surface une couche isolante 54, en  $\text{SiO}_2$  par exemple  
15 puis on effectue une étape de planarisation (figures 3F, 4F).

On va ensuite définir au moins une ouverture 46 pour rendre accessible des contacts d'alimentation du ou des conducteurs à réaliser sur le  
20 second substrat, ainsi que la géométrie d'un espace libre 58 devant entourant la pièce 200 allégée en aimant de la partie magnétique mobile de manière à permettre son déplacement. Cette étape est une étape de photolithographie et la résine employée porte la  
25 référence 50-4 (figures 3G, 4G). La résine 50-4 épargne la pièce allégée en aimant 200.

On vient ensuite graver la couche d'isolant 54 là où il n'y a pas de résine 50-4. On ôte la résine 50-4 (figures 3H, 4H). La pièce 200 allégée en aimant  
30 est alors mise à nu ainsi que son entourage 58 jusqu'aux aimants fixes 3-1 (figure 3H, 4H).

On effectue ensuite une gravure sèche du substrat 93 au niveau de l'espace 58 autour de la pièce 200 allégée en aimant, au niveau de l'ouverture 46, cette gravure s'arrête sur la couche d'isolant dans le cas du substrat SOI 93 (figure 4I). La couche 53 qui recouvre l'évidement 21 empêche qu'il soit attaqué puisque dans cette configuration il est plein de matériau du substrat 93.

Sur la figure 3I, la gravure sèche du substrat 91 s'effectue autour de la pièce 200 allégée en aimant, au niveau de l'ouverture 46, ainsi qu'au niveau de l'évidement 21 à l'intérieur du cadre 24. Ainsi l'évidement 21 est vidé du matériau du substrat 91.

On suppose que les moyens 30 de déclenchement du déplacement sont similaires à ceux de la figure 2A.

Sur le second substrat 92, on définit la géométrie du conducteur 4-1 et de ses extrémités 45 devant porter les contacts d'alimentation par photolithographie. La résine employée porte la référence 50-5 (figures 5A).

On effectue une gravure d'un caisson 55 devant accueillir le conducteur 4-1. Dans un substrat SOI la gravure du caisson 55 s'arrête sur la couche isolante. La profondeur du caisson 55 correspond à l'épaisseur du conducteur 4-1. Après le retrait de la résine 50-5, on dépose en surface une sous-couche conductrice 56 d'accrochage (figure 5B). Elle peut être réalisée en cuivre par exemple. On peut aussi introduire une seconde sous-couche comme décrit à la

figure 3B. Elle peut être réalisée en titane par exemple.

On définit par photolithographie la zone de dépôt du conducteur. La résine employée porte la  
5 référence 50-6. On dépose par voie électrolytique le conducteur 4-1, ses extrémités référencées 45 sont bien visibles (figures 5C). Le dépôt peut être du cuivre.

On ôte la résine 50-6, on planarise le dépôt conducteur. On grave la sous-couche conductrice  
10 56 en surface pour la retirer (figure 5D).

On dépose ensuite en surface une couche conductrice 57 destinée réaliser les contacts d'alimentation 47 du conducteur 4-1, ces contacts 47 recouvrant les extrémités 45 du conducteur 4-1. On  
15 définit la géométrie des contacts 47 par photolithographie, la résine employée pour cela portant la référence 50-7 (figure 5E).

On grave ensuite la couche conductrice 57 de manière à la retirer partout où elle n'est pas  
20 protégée par la résine 50-7. Après retrait de la résine 50-7, on dépose en surface une couche isolante 59. Elle peut être réalisée en oxyde de silicium  $\text{SiO}_2$ . Elle va isoler le conducteur 4-1 des aimants 3-1, 24 lors de l'assemblage du premier substrat 91, 93 et du second  
25 substrat 92 (figure 5F).

On réalise une planarisation en surface et on met à nu les contacts 47 (figure 5G).

On va ensuite assembler par collage, en les mettant face à face, le substrat de la figure 3I au  
30 substrat de la figure 5G (figure 6A) ou le substrat de la figure 4I au substrat de la figure 5G (figure 7A).

Il faut s'assurer maintenant que les aimants 3-1, 24 sont aimantés car sinon, lors de la libération de la pièce 200 allégée en aimant, elle ne serait pas attirée par les aimants fixes 3-1 qui eux  
5 restent bien solidaires du substrat par la sous-couche d'accrochage.

On va éliminer totalement ou partiellement le premier substrat 91, 93. Il peut s'agir d'un amincissement mécanique et/ou d'une attaque chimique.  
10 Sur la figure 6B, le substrat 91 a été complètement ôté tandis que sur la figure 7B, l'élimination s'est arrêtée sur la couche d'oxyde 93-1 et le silicium du substrat 93 qui se trouve en dessous reste en place. On termine par le retrait de la couche d'oxyde 93-1. Les  
15 aimants 3-1, 24 sont alors encastrés dans le substrat formé des deux parties assemblées 92 et 93 alors que sur la figure 7B ils sont en surface du substrat 92.

Bien que plusieurs modes de réalisation de la présente invention aient été représentés et décrits  
20 de façon détaillée, on comprendra que différents changements et modifications puissent être apportés sans sortir du cadre de l'invention.

## REVENDICATIONS

1. Actionneur magnétique comportant une partie magnétique mobile (20), une partie magnétique fixe (10) dotée d'au moins deux zones d'attraction (11, 12) pour la partie magnétique mobile (20), et des moyens (30) de déclenchement du déplacement de la partie magnétique mobile (20), la partie magnétique mobile (20) étant en lévitation lorsqu'elle n'est pas en contact avec une zone d'attraction (11, 12), caractérisé en ce que la partie magnétique mobile (20) comporte une pièce (200) à base d'aimant, allégée en aimant, cette pièce (200) ayant un volume hors tout, et une masse qui est inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était totalement occupé par l'aimant.

2. Actionneur magnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la pièce (200) allégée en aimant comporte un ou plusieurs aimants (22, 24, 26) munis d'au moins un évidement (21, 27).

3. Actionneur magnétique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'évidement (21) est un trou traversant.

4. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que l'évidement (21) est rempli d'un matériau (25) solide ayant une densité moindre, inférieure à celle de l'aimant (24).

5. Actionneur magnétique selon la revendication 4, caractérisé en ce que le matériau solide de moindre densité est choisi parmi un matériau  
5 semi-conducteur, un matériau plastique, un matériau magnétique doux, un matériau diélectrique.

6. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que  
10 l'évidement (21) est vide de matériau solide.

7. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la pièce (200) allégée en aimant est une plaque sensiblement  
15 rectangulaire.

8. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la pièce (200) allégée en aimant comporte un cadre (24)  
20 d'aimant.

9. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la pièce (200) allégée en aimant comporte, dans le sens du  
25 déplacement, une succession d'aimants (26) espacés les uns des autres, ces aimants (26) ayant une même orientation d'aimantation.

10. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la pièce  
30 (200) allégée en aimant comporte dans le sens du

déplacement une succession alternée d'aimants (26) et d'au moins une partie (27) solide de moindre densité.

11. Actionneur magnétique selon l'une des  
5 revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que les aimants (26) sont en forme de barreaux orientés sensiblement normalement au déplacement.

12. Actionneur magnétique selon l'une des  
10 revendications 9 à 11, caractérisé en ce que la succession comporte un aimant (26) à chaque extrémité.

13. Actionneur magnétique selon la  
revendication 12, caractérisé en ce que les aimants  
15 (26) d'extrémité ont une dimension, dans le sens du déplacement, sensiblement égale au déplacement.

14. Actionneur magnétique selon l'une des  
revendications 9 à 13, caractérisé en ce que les moyens  
20 (30) de déclenchement du déplacement comportent au moins un conducteur (30) agencé en méandre formé de tronçons (30.1, 30.2) de conducteurs successifs dans lesquels un courant est susceptible de circuler dans des sens opposés, chacun des aimants (26) de la  
25 succession coopérant, lorsque la partie magnétique mobile (20) est collée sur une zone d'attraction (11, 12), avec un des tronçons (30.1 ou 30.2), dans ces tronçons le courant circulant dans le même sens.

30 15. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la pièce

(200) allégée en aimant comporte au moins un aimant (28) central entouré au moins partiellement d'au moins une partie (29) de moindre densité, cet aimant (28) central étant en forme de pastille sensiblement arrondie ou ovoïde.

16. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que la partie magnétique mobile (20) comporte au moins une face (201a), devant venir se coller sur une zone d'attraction (11, 12), cette face (201a) étant courbe.

17. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que la partie magnétique mobile (20) comporte au moins une face (205) devant venir se coller sur une zone d'attraction (11, 12), cette face étant agencée en zigzag.

18. Actionneur magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que chaque zone d'attraction (11, 12) a une géométrie conjuguée de celle de la face (201a, 205) de la partie magnétique mobile (20) devant venir en contact avec elle.

25

19. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'au moins une des zones d'attraction (11) comporte une partie diélectrique (111) de manière à réaliser un contact capacitif lorsque la partie magnétique mobile (20) est collée sur ladite zone d'attraction.

20. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisé en ce que la pièce allégée en aimant comporte une partie diélectrique (29) de manière à réaliser un contact capacitif lorsque la partie magnétique mobile (20) est collée sur une des zones d'attraction (11, 12).

21. Procédé de réalisation d'un actionneur magnétique, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- sur un premier substrat (91, 93) réalisation de caissons (51) aptes à recevoir des aimants (3-1, 24) d'une partie magnétique fixe et d'une pièce (200) allégée en aimant d'une partie magnétique mobile, cette pièce (200) allégée en aimant ayant un volume hors tout, et une masse qui est inférieure à celle qu'elle aurait si son volume hors tout était totalement occupé par l'aimant,
- dépôt dans les caissons (51) des aimants (3-1, 24),
- dépôt d'une couche diélectrique (54) et gravure de cette dernière pour mettre à nu la pièce (200) allégée en aimant de la partie magnétique mobile et son entourage jusqu'à la partie magnétique fixe,
- sur un second substrat (92) réalisation d'au moins un caisson (55) apte à recevoir un conducteur destiné à déclencher un déplacement de la partie magnétique mobile,
- dépôt du conducteur (4-1) dans le caisson (55),

- assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92) en les mettant face à face,

- élimination totale ou partielle du premier substrat (91, 93) de manière à libérer la pièce  
5 (200) allégée en aimant de la partie magnétique mobile.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce qu'il comporte une étape d'aimantation de l'aimant (24) de la pièce (200)  
10 allégée en aimant de la partie magnétique mobile et éventuellement de la partie magnétique fixe avant la libération de la pièce (200) allégée en aimant.

23. Procédé selon l'une des revendications  
15 21 ou 22, caractérisé en ce que l'étape de gravure de la couche diélectrique (54) du premier substrat (91, 93) vise également à réaliser au moins une ouverture (46) d'accès à au moins un contact électrique d'alimentation du conducteur (4-1).

20

24. Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que l'étape de gravure de la couche diélectrique (54) est suivie d'une étape de gravure du premier substrat (91, 93) autour de la pièce (200)  
25 allégée en aimant et au niveau d'au moins une partie (21) de moindre densité dont est dotée la pièce (200) allégée en aimant.

25. Procédé selon la revendication 23  
30 caractérisé en ce que l'étape de gravure de la couche diélectrique (54) est suivie d'une étape de gravure du

premier substrat (91, 93) autour de la pièce (200) allégée en aimant en masquant au moins une partie (21) de moindre densité dont est dotée la pièce (200) allégée en aimant, cette partie (21) de moindre densité  
5 étant pleine du matériau du substrat.

26. Procédé selon l'une des revendications 21 à 25, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de réalisation d'au moins un contact électrique (47) pour  
10 l'alimentation du conducteur (4-1) sur le second substrat (92) après le dépôt du conducteur et avant l'assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92).

27. Procédé selon l'une des revendications  
15 21 à 26, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de dépôt d'un matériau diélectrique (59) en surface du second substrat (92) avant l'assemblage des deux substrats (91 ou 93, 92).

20 28. Procédé selon l'une des revendications 21 à 27, caractérisé en ce que les substrats sont des substrats semi-conducteurs massifs ou de type SOI (93).

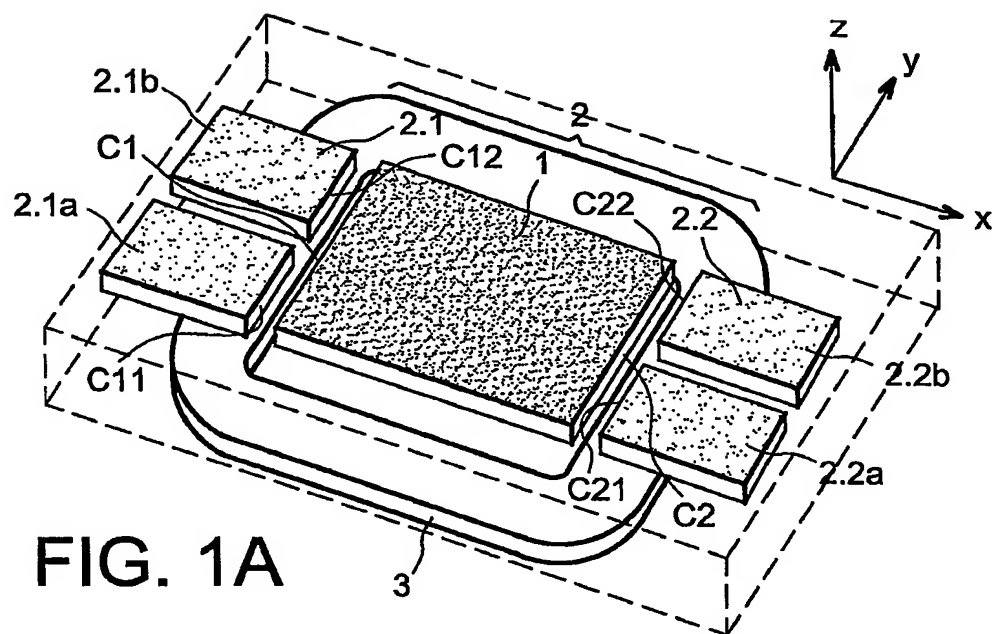


FIG. 1A

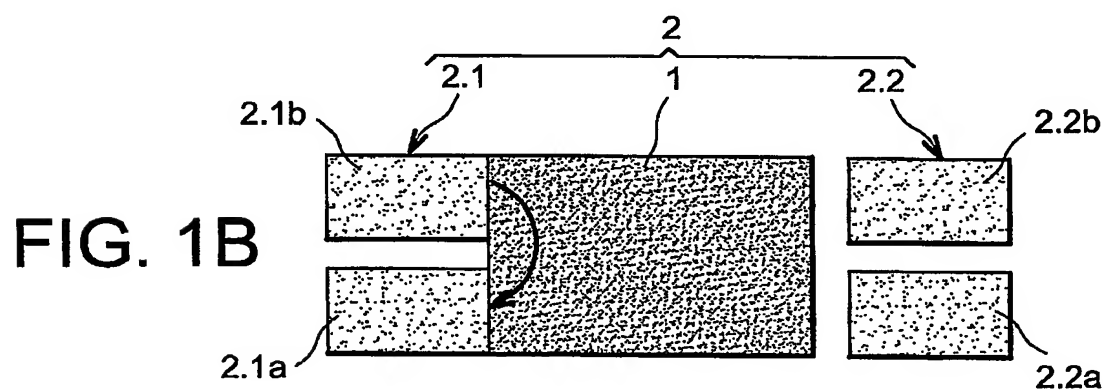


FIG. 1B

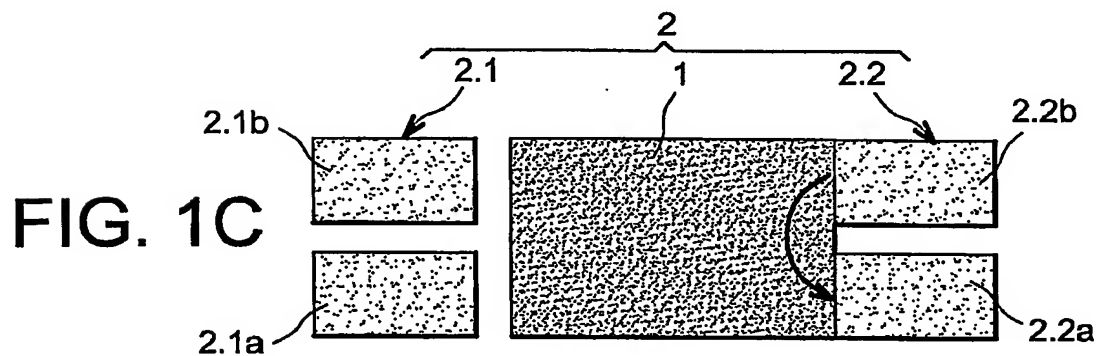


FIG. 1C

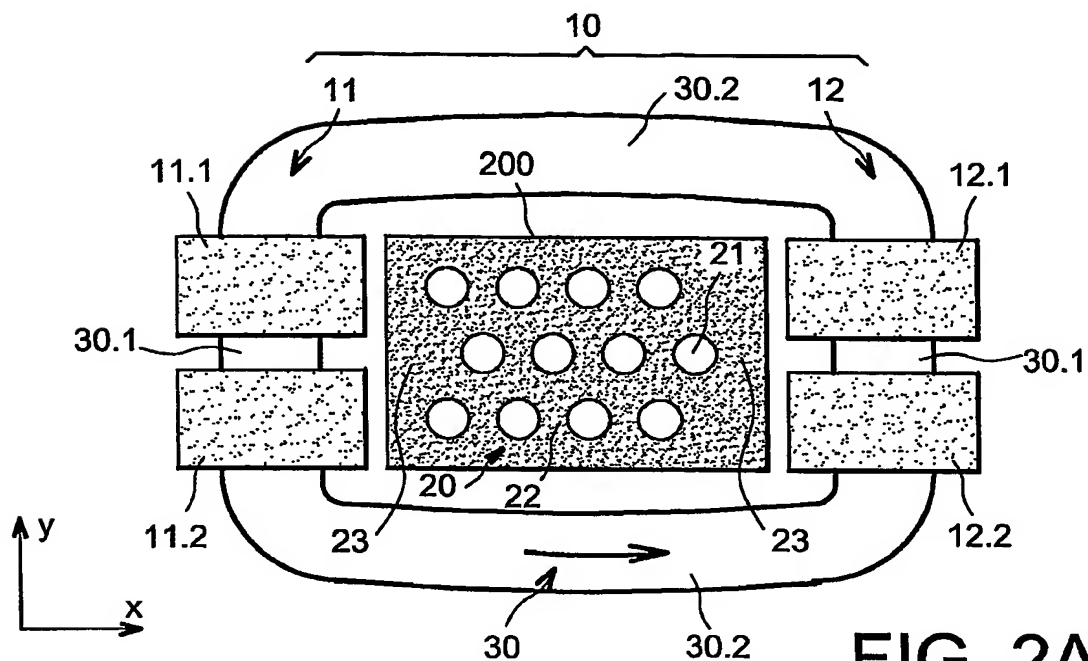


FIG. 2A

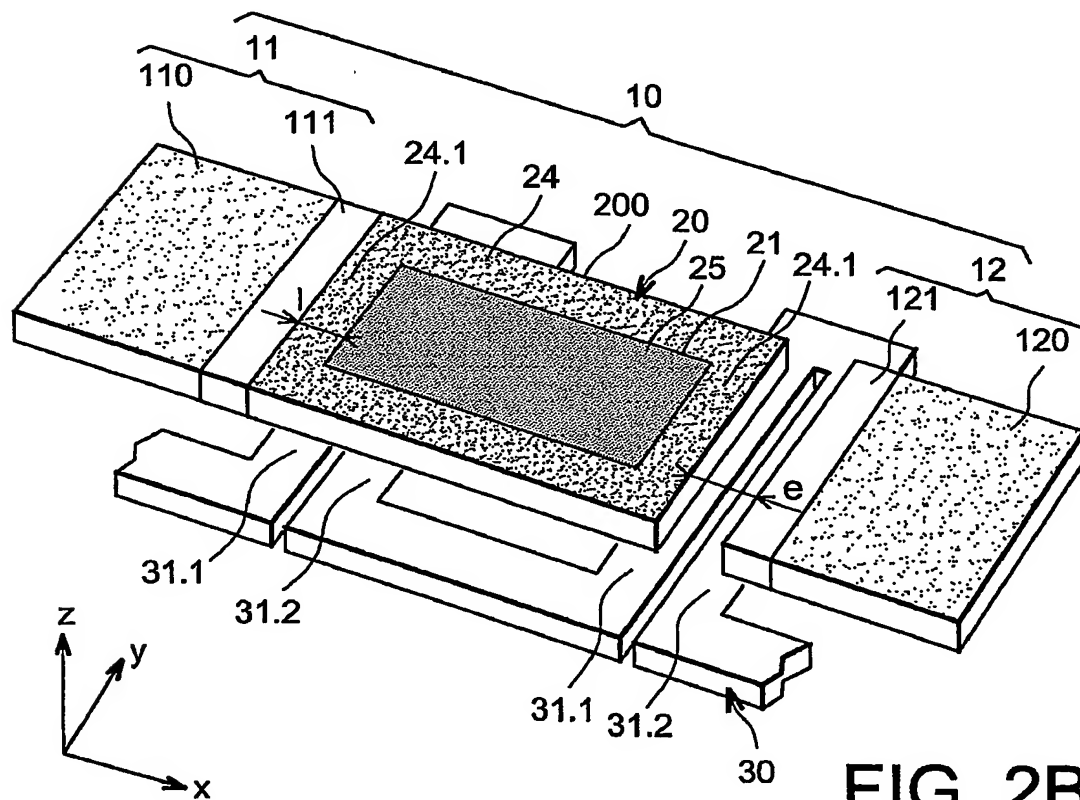
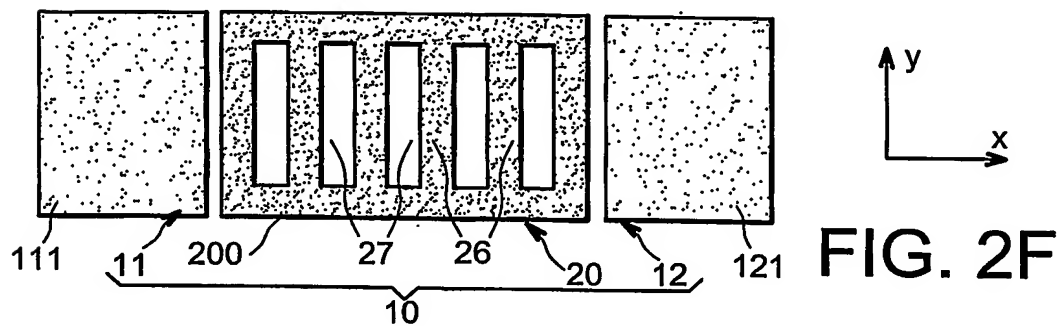
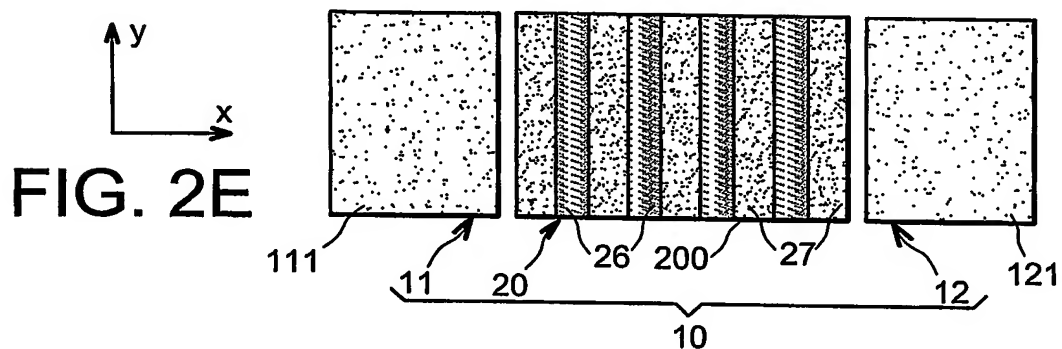
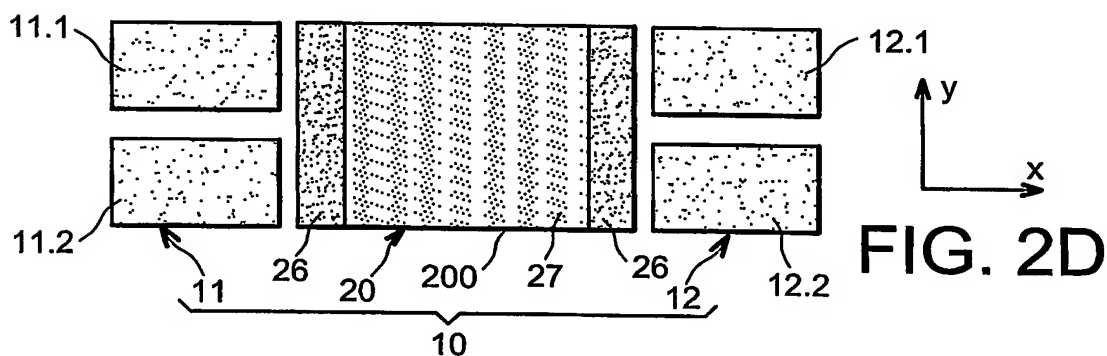
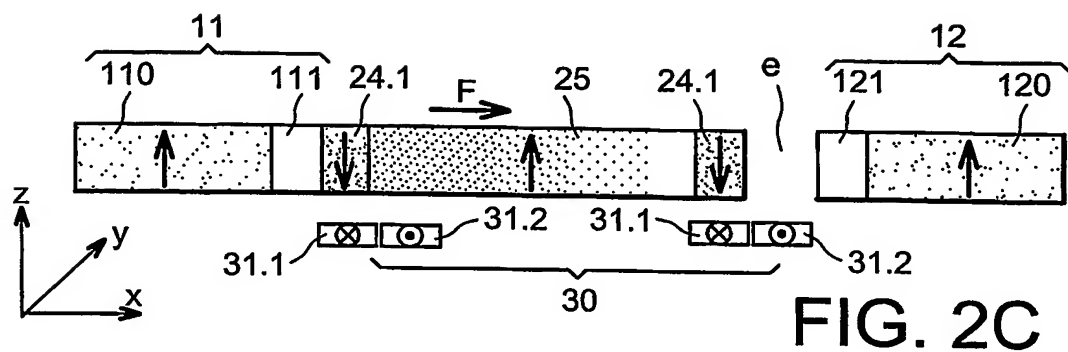
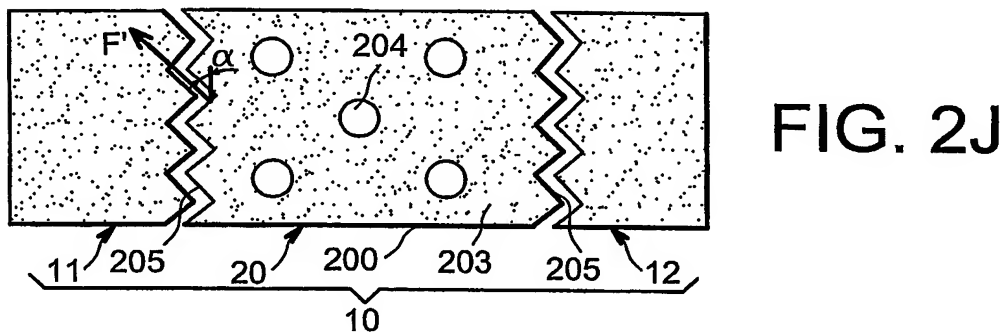
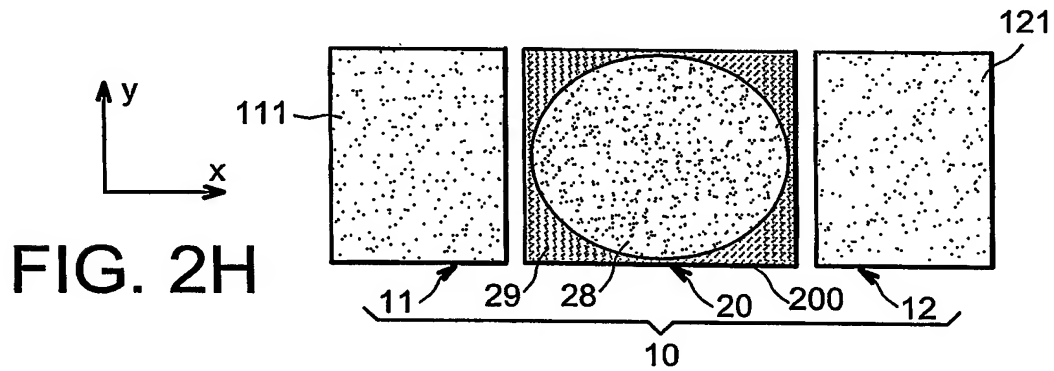
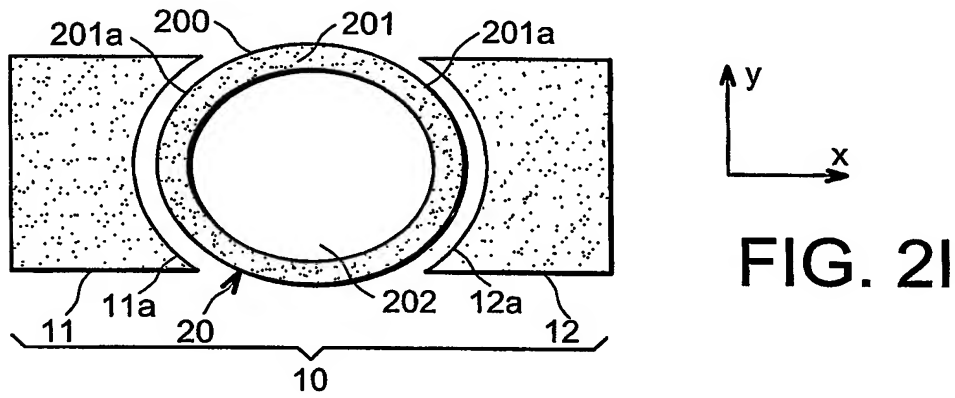
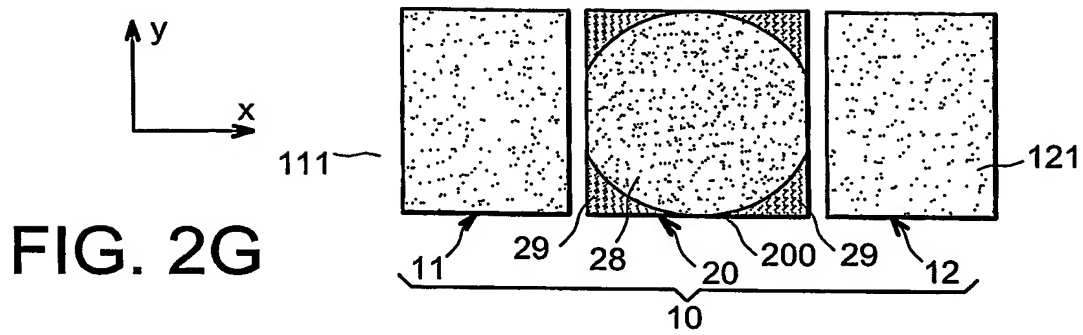


FIG. 2B





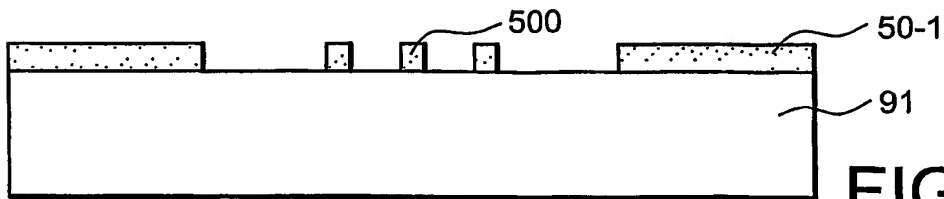


FIG. 3A

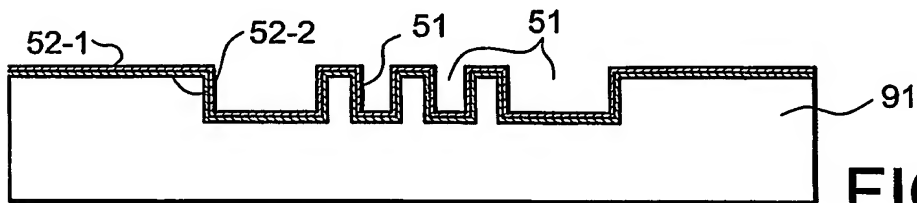


FIG. 3B

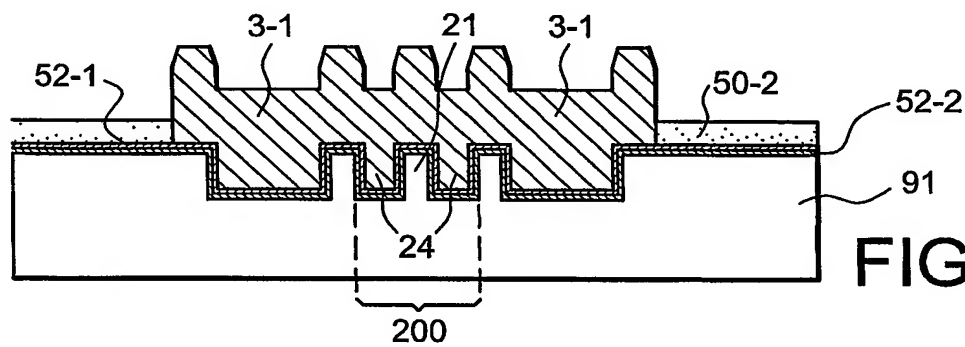


FIG. 3C

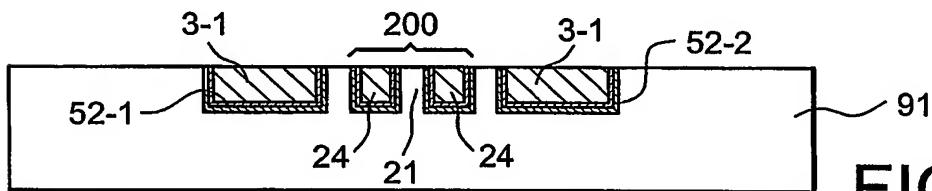


FIG. 3D

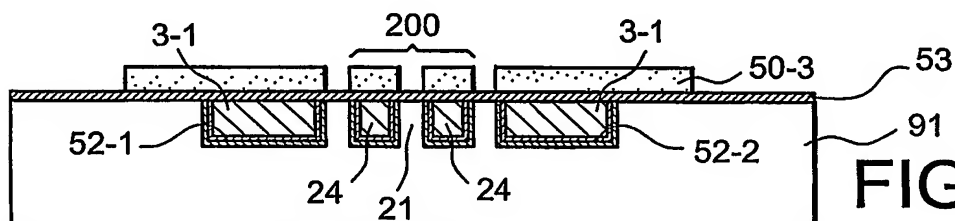
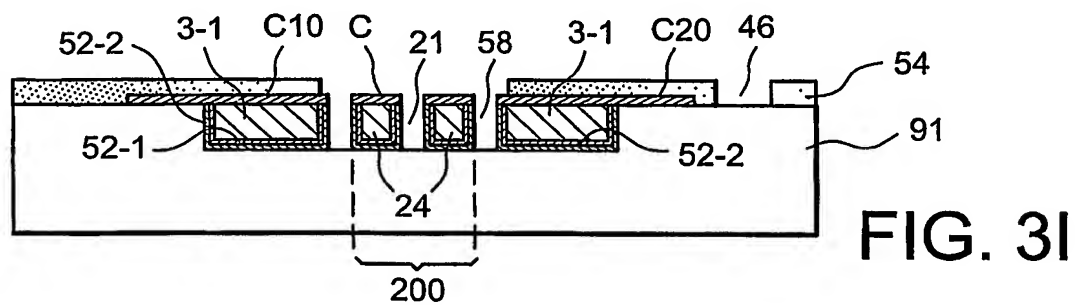
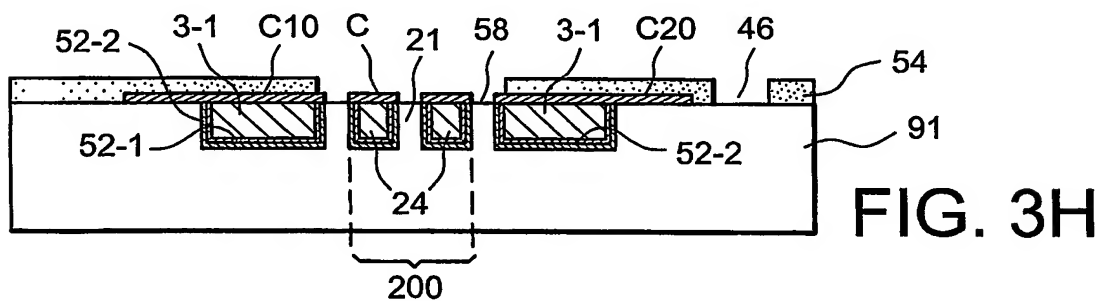
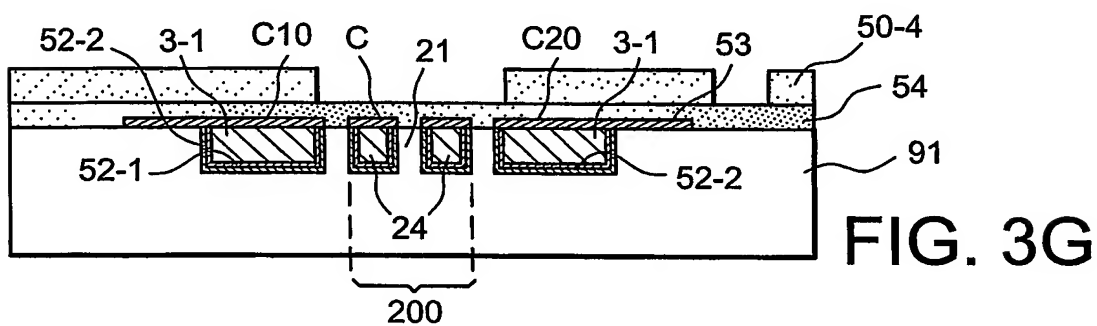
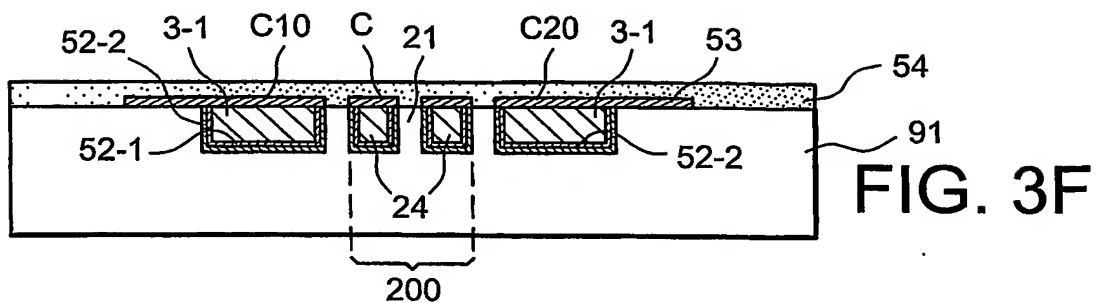


FIG. 3E



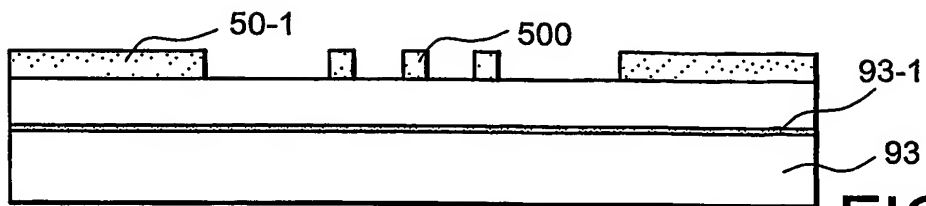


FIG. 4A

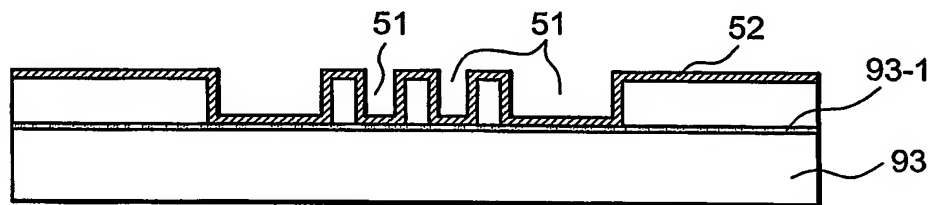


FIG. 4B

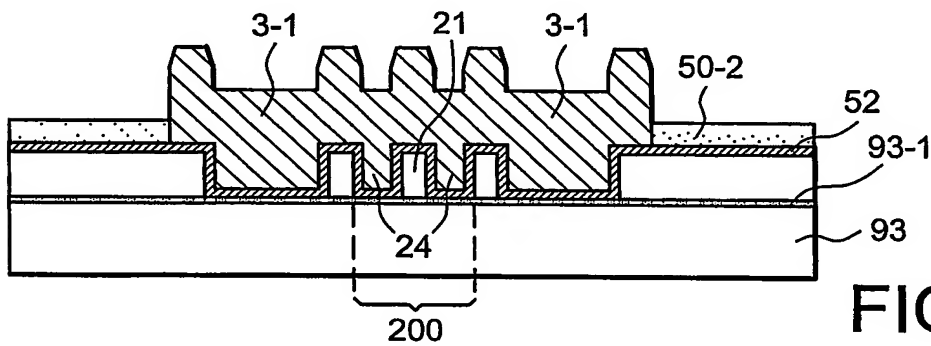


FIG. 4C

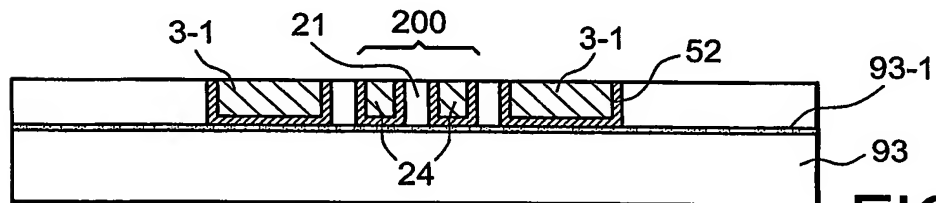


FIG. 4D

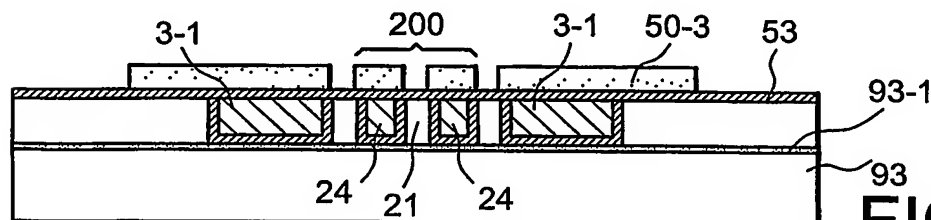


FIG. 4E

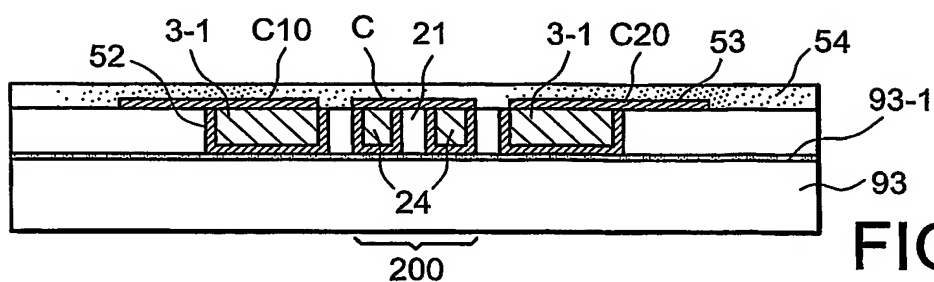


FIG. 4F

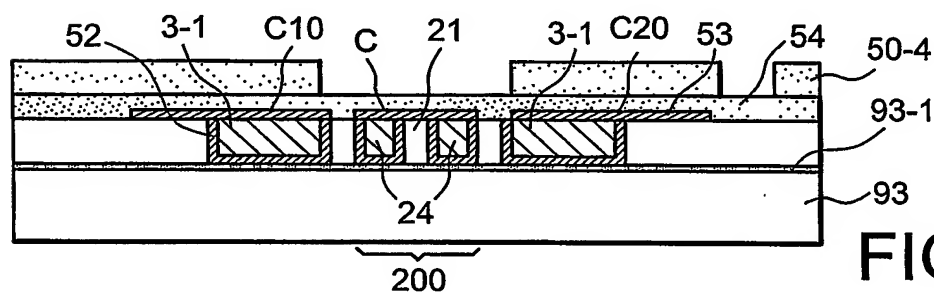


FIG. 4G

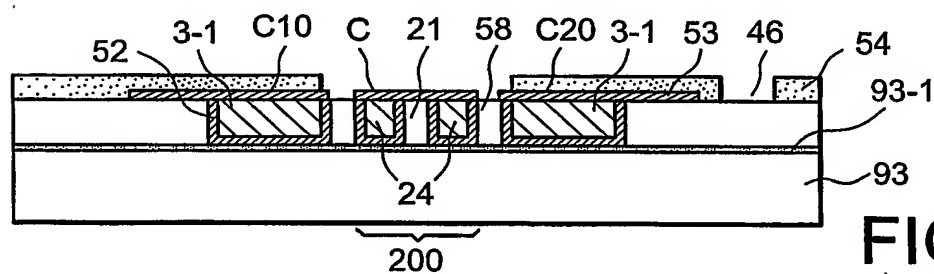


FIG. 4H

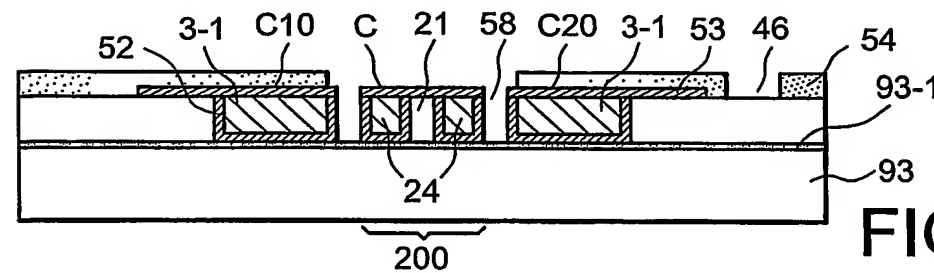


FIG. 4I

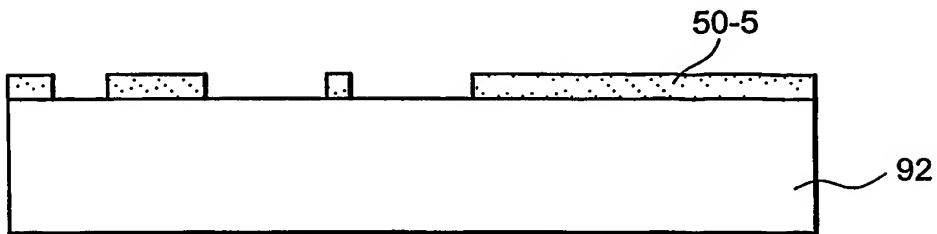


FIG. 5A

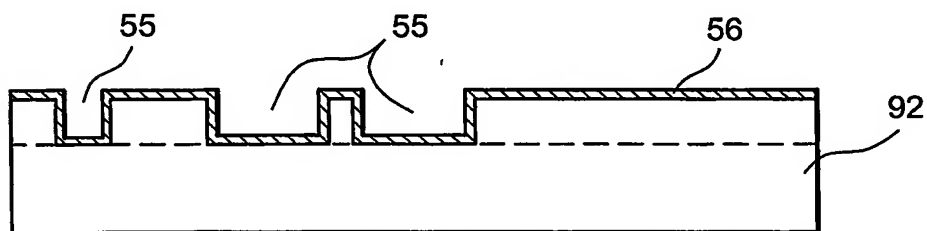


FIG. 5B

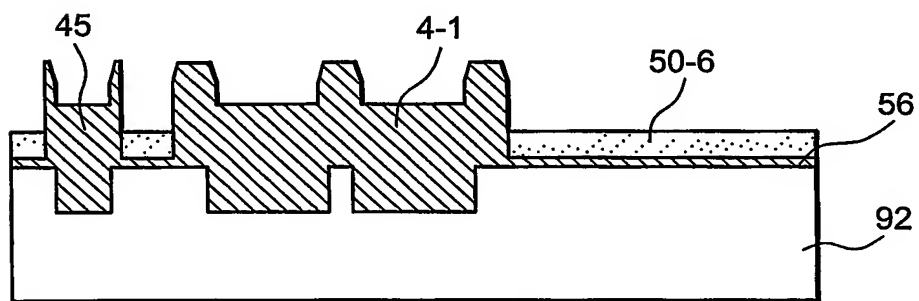


FIG. 5C

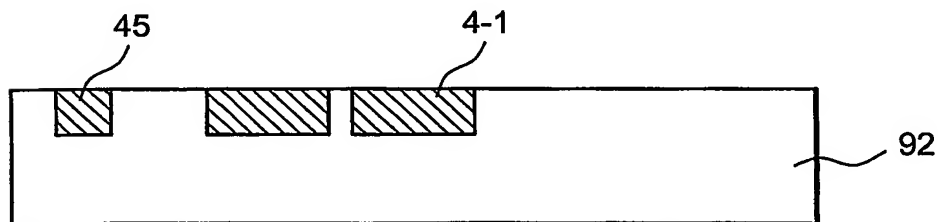


FIG. 5D

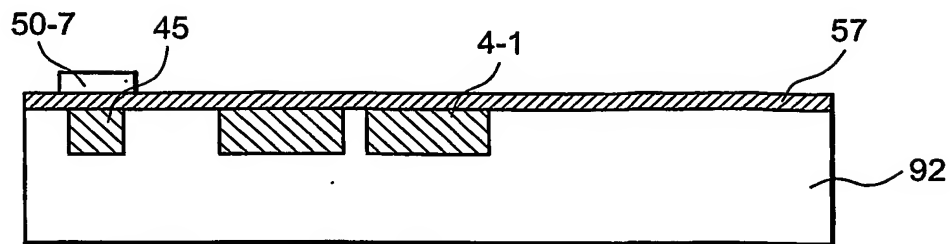


FIG. 5E

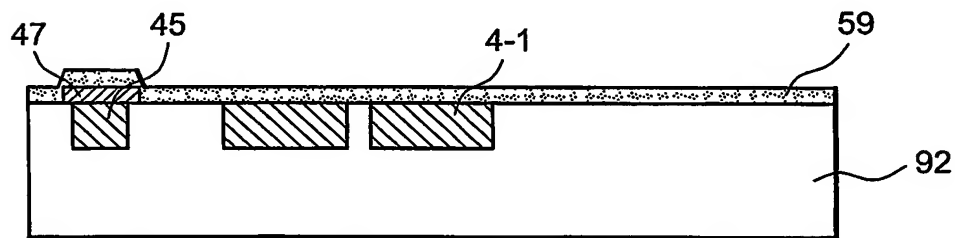


FIG. 5F

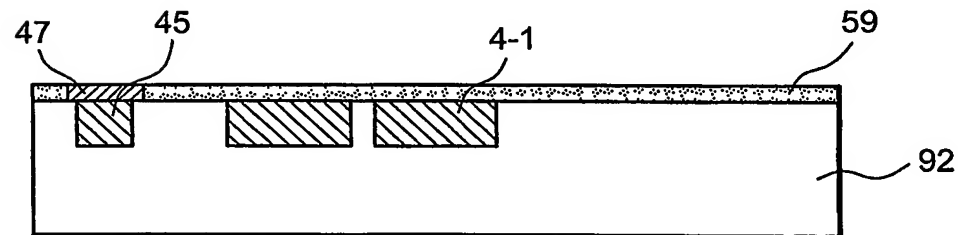


FIG. 5G

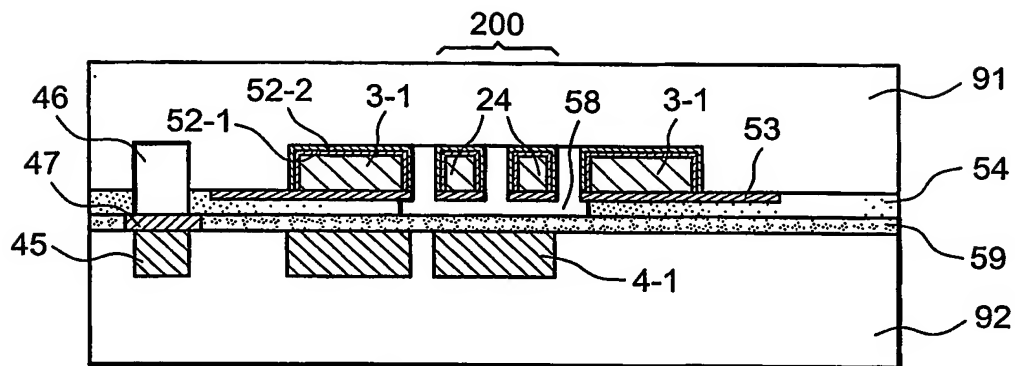


FIG. 6A

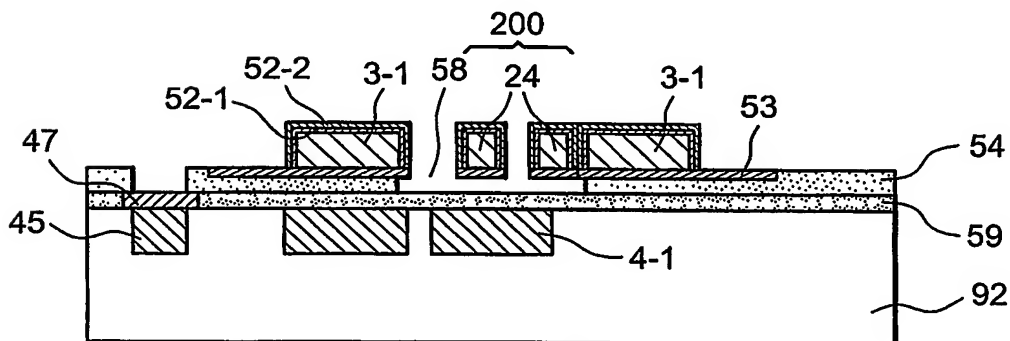


FIG. 6B

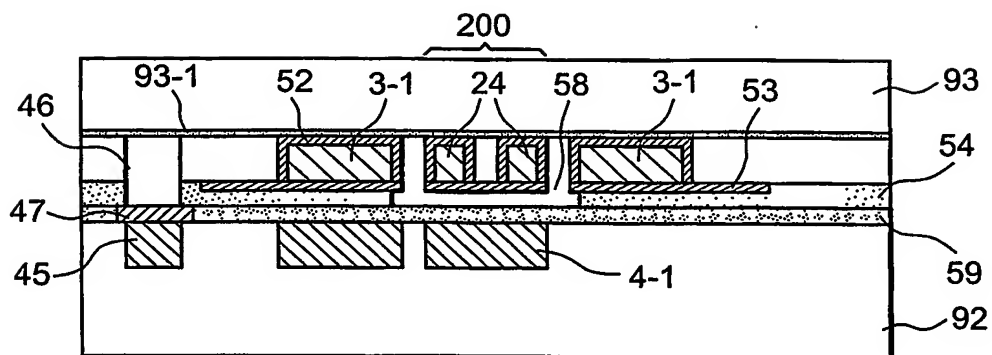


FIG. 7A

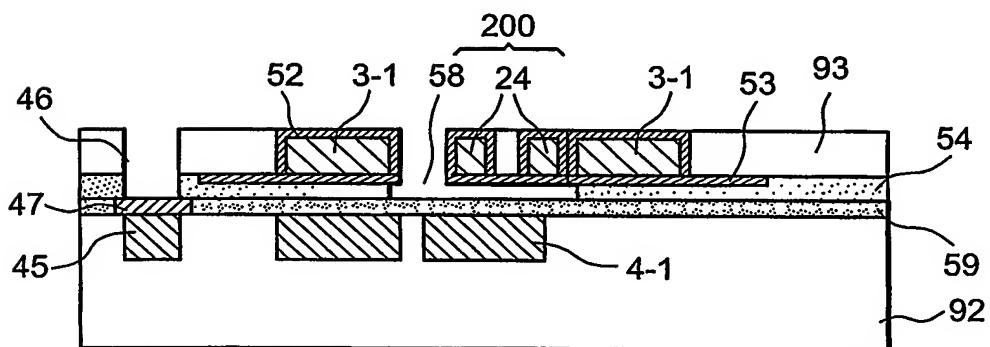


FIG. 7B

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050331

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01F7/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01F H01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 01, 30 January 1998 (1998-01-30) & JP 09 252570 A (TOSHIBA CORP), 22 September 1997 (1997-09-22) abstract; figures 5,7	1-3,6
A	FR 2 828 000 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 31 January 2003 (2003-01-31) cited in the application claims 1,25	1,21

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 December 2004

Date of mailing of the international search report

14/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Stichauer, L

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/050331

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
JP 09252570	A	22-09-1997	JP	3405881 B2		12-05-2003
FR 2828000	A	31-01-2003	FR	2828000 A1		31-01-2003
			EP	1428232 A2		16-06-2004
			WO	03012805 A2		13-02-2003
			US	2004183382 A1		23-09-2004

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/050331

## A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

CIB 7 H01F7/08

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01F H01H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 01, 30 janvier 1998 (1998-01-30) & JP 09 252570 A (TOSHIBA CORP), 22 septembre 1997 (1997-09-22) abrégé; figures 5,7	1-3,6
A	FR 2 828 000 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 31 janvier 2003 (2003-01-31) cité dans la demande revendications 1,25	1,21

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

3 décembre 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

14/12/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Stichauer, L

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/050331

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 09252570	A	22-09-1997	JP 3405881 B2	12-05-2003
FR 2828000	A	31-01-2003	FR 2828000 A1	31-01-2003
			EP 1428232 A2	16-06-2004
			WO 03012805 A2	13-02-2003
			US 2004183382 A1	23-09-2004